



Skolan för teknik och hälsa

Tentamen

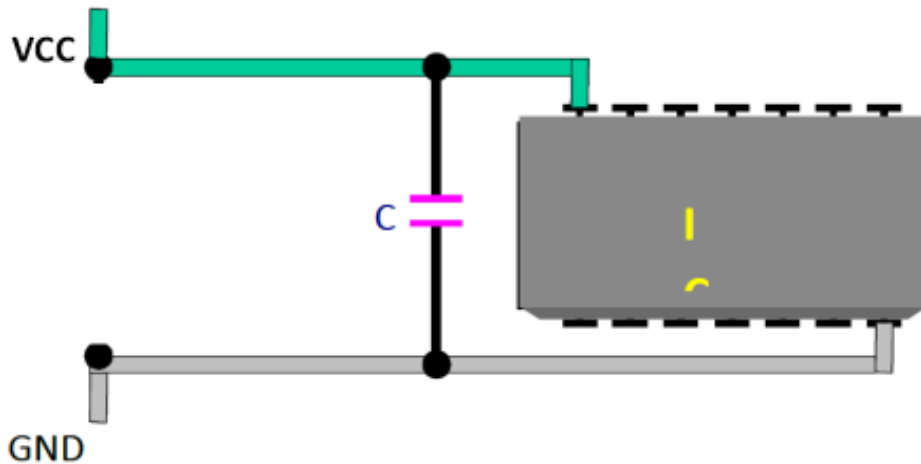
Kurs:	EMC elektronik
Kursnummer:	HE1019
Moment:	RED1: 4hp
Program:	MT
Åk:	3 (TIMEL3)
Examinator:	Mats Nilsson
Rättande lärare:	Nils Holmström
Datum:	Ons 13 mars, 2013
Tid:	13:00-17:00
Plats:	FL-5Y, ANA8, Flemingsberg
Hjälpmedel:	Räknedosa, formelsamling i tentamen
Omfattning och betygsgränser:	Tentamen består av 25 frågor som kan ge maximalt 25 poäng. Betygsättning: A 23-25 poäng, B 20-22 poäng, C 17-19 poäng, D 14-16 poäng, E 11-13 poäng, Fx minst 10 poäng (ger inte godkänt på kursen men ger rätt till komplettering)
Övrig information:	Resultat annonseras i Bilda.

Observera! Svara på frågor genom att skriva in svaren i respektive ruta under frågan.

När du är nöjd med svaren lämna hela tentamen till vakten.

1.

När en digital krets med $VCC = 5\text{ V}$ matningsspänning byter värde på utgången går det en tvärström $i = 100\text{ mA}$. Omslaget sker på 10 ns . Beräkna det minsta värdet en avkopplingskondensator C över matningsspänningen till kretsen måste ha för att spänningen inte skall sjunka mer än 25 mV på grund av detta omslag.



Lösning:

$$Q = CU, i = dQ/dt \text{ eller formelsamlingen sid 303 } i = C \times du/dt \Rightarrow$$

$$C = i \times dt/du = 0.1 \times 10^{-8} / (25 \times 10^{-3}) = 40\text{ nF}$$

2.

För att mäta emissionen (störsignalen) från en elektronikkonstruktion har man en antenn på 10 m avstånd från denna. Vid vilka störfrekvenser kan göra mätningarna om kravet är att man mäter i fjärrfältet från störkällan?

Lösning:

Avståndet r från strålkällan skall vara längre än $\lambda/2\pi$, dvs:

$$r > \lambda/2\pi \Leftrightarrow \lambda < 2\pi r \Rightarrow \lambda < 63\text{ m}$$

$$\lambda = c/f \Rightarrow c/f < 2\pi r \Leftrightarrow \text{störfrekvensen } f > c/2\pi r \Leftrightarrow f > 4.8\text{ MHz}$$

3.

Beräkna vågimpedansen vid 10 MHz för aluminium. Konduktiviteten $\sigma = \sigma_r \sigma_0$.

Lösning:

Enligt formelsamling (sid 309) är $\sigma_r = 0.61$ för aluminium och $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7\text{ S/m}$.

$$\sigma = \sigma_r \sigma_0 = 3.5 \times 10^7\text{ S/m}$$

Vågimpedansen i metall $E/H = Z_s$ (se formel sid 306)

I metall är $\sigma \gg \omega\epsilon_0 = 556 \times 10^{-6}$ varför formeln kan förenklas till

$$|Z_s| = \sqrt{\frac{\omega\mu_r\mu_0}{\sigma}}$$

$\mu_r = 1$ för aluminium (se tabell sid 309), $\omega = 2\pi f \Rightarrow$

$$Z_s = 1.5 \times 10^{-3} \text{ ohm}$$

4.

Vilken reflektionsdämpning fås vid 100 MHz i en kopparskärm om vågimpedansen i koppar är

$$|Z_s| = 3.68 \times 10^{-7} \sqrt{f}$$

Vad blir reflektionen R [dB]?

Lösning:

Sätts $f = 100$ MHz i det givna uttrycket fås att $Z_s = 3.68 \times 10^{-3} \Omega$

Formelsamling sid 307:

$$\text{Reflektionsdämpningen } E_1/E_0 = 4 Z_0 Z_s / (Z_0 + Z_s)^2 = 39 \times 10^{-6} = -88 \text{ dB}$$

$$\text{Reflektionen } R = 20\log(E_0/E_1) = 88 \text{ dB}$$

5.

Vad är absorptionsdämpningen vid 10 MHz om en aluminiumplåts tjocklek t är 0.1 mm? Vad är absorptionen A [dB]?

Lösning:

Formelsamlingen sid 306: Inträngningsdjupet $\delta = 66 \times 10^{-3} / \sqrt{\sigma f} \Rightarrow$

$$\delta(10 \text{ MHz}) = 26.7 \mu\text{m}$$

Formelsamlingen sid 307: Absorptionsdämpningen $E_1/E_0 = e^{-t/\delta} = 23.6 \times 10^{-3} = -32.5 \text{ dB}$

$$\text{Absorptionen } A = 32.5 \text{ dB}$$

6.

Vad blir den totala skärmningseffektiviteten SE för en metallplåt som har en reflektionsdämpning på 10^{-5} och en absorptionsdämpning på 10^{-3} vid mätfrekvensen 10 MHz?

Lösning:

$$R = 20\log(1/10^{-5}) = 100 \text{ dB}, A = 20\log(1/10^{-3}) = 60 \text{ dB}$$

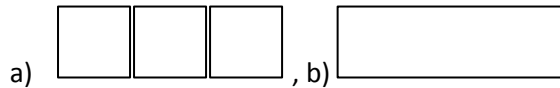
$$SE = R + A + B \approx R + A = 100 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 160 \text{ dB}$$

Multipla reflektioner B behöver inte beaktas eftersom $A > 10$ dB (regel sid108).

7.

a) Om man gör tre kvadratiska hål som sitter tätt intill varandra i en metallskärm med höjd och bredd = 2 cm vardera, vad blir då skärmningseffektiviteten SE vid 10 MHz?

b) Vad blir SE om man tar bort de två balkarna i mitten och bara har ett enda hål med bredden 6 cm och höjden 2 cm?



Lösning:

Våglängden $\lambda = c/f = 30$ m. Bredden på den sammansatta öppningen är 6 cm $\ll \lambda = 30$ m, dvs. öppningen är liten relativt våglängden.

Formelsamlingen sid 307: $SE = 20\log(\lambda/2a) + 20\log(1 + \ln(a/b))$

a) $a = b = 2$ cm

$$SE = 20\log(30/2 \times 2 \times 10^{-2}) = 57.5 \text{ dB}$$

b) $a = 6$ cm, $b = 2$ cm

$$SE = 20\log(30/2 \times 6 \times 10^{-2}) + 20\log(1 + \ln(6/2)) = 54.4 \text{ dB}$$

8.

Den elektriska ledaren mellan drivkrets och mottagande krets på ett mönsterkort är 20 cm lång och 0.4 mm bred. Signalströmmen som går i ledaren har sin returström i jordplanet på andra sidan av kortet. Kortet är 1 mm tjockt och gjort av glasfiberarmerad epoxi, FR4, vilket har ett dielektricitetsstal $\epsilon_r = 4.5$. Tjockleken på kopparlaminatet är 17 μm . Beräkna transmissionstiden T_D mellan kretsarna samt den karaktäristiska impedansen Z_0 .

Lösning:

$$\epsilon_r = 4.5$$

Formelsamlingen sid 308:

$$T_0 = 3.34\sqrt{0.47\epsilon_r + 0.67}$$

Detta ger att $T_0 = 5.57$ ns/m. Längden på ledaren $l = 0.2$ m =>

$$T_D = l \times T_0 \Rightarrow T_D = 1.11 \text{ ns}$$

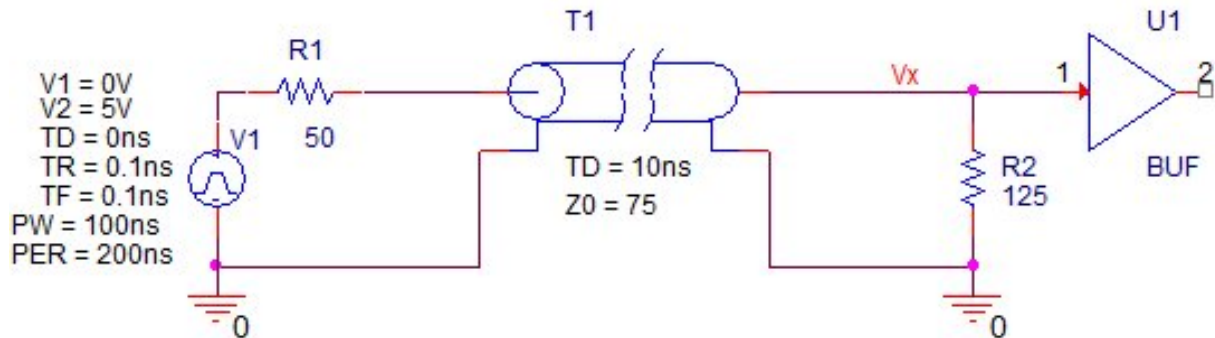
$h = 1$ mm, $b = 0.4$ mm, $t = 17$ μm och den karaktäristiska impedansen för "Microstrip" är:

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln\left(\frac{5.98h}{0.8b + t}\right)$$

Detta ger att $Z_0 = 103 \Omega$.

9.

Vid ett laborationstillfälle kopplas signalgeneratorns utgång direkt till en BNC koaxialkabel med karaktäristiska impedansen $Z_0 = 75 \Omega$ och transmissionstiden $T_D = 10 \text{ ns}$. Signalgeneratorns utgångsimpedans $R_1 = 50 \Omega$. I andra ändan har man terminerat kabeln med ett motstånd $R_2 = 125 \Omega$ till jord. Pulsen som matas från generatoren går vid tidpunkten $t = 0$ från 0 till 5 V, men vilken amplitud har signalen på ingången till buffertkretsen (V_x) efter 5 ns och 15 ns?



Lösning:

Beräkna först inspänningen när signalen når T1 första gången: $V_s = V_0 \times Z_0 / (R_1 + Z_0) = 3 \text{ V}$.

Reflektionskoefficienten $\rho_s = (R_1 - Z_0) / (R_1 + Z_0) = -0.2$ (används inte här)

Reflektionskoefficienten $\rho_T = (R_2 - Z_0) / (R_2 + Z_0) = +0.25$

Från $t = 0$ till $t = T_D$ är spänningen V_x på ingången till bufferten $U_1 = 0 \text{ V}$. Alltså är **$V_x(5\text{ns}) = 0 \text{ V}$** .

Efter första reflektionen reflekteras $V_{r1} = \rho_T V_s = 0.75 \text{ V}$

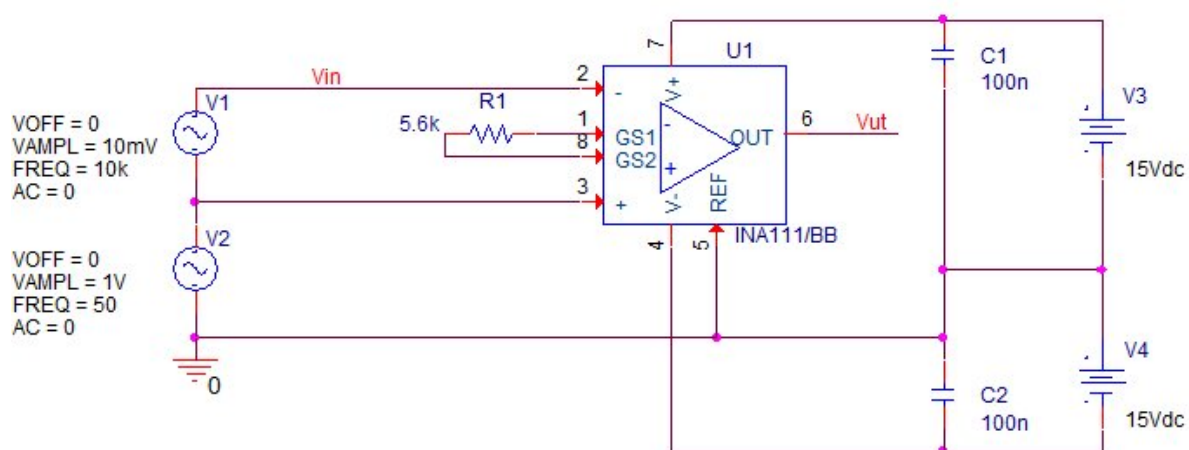
$V_{T1} = V_s + V_{r1} = 3\text{V} + 0.75\text{V} = 3.75 \text{ V}$

Från $t = T_D$ till $t = 3T_D$ är $V_x = 3.75 \text{ V}$. Alltså är **$V_x(15\text{ns}) = 3.75 \text{ V}$** .

10.

I denna kretslösning använder man instrumentförstärkaren INA111 (U_1 i fig). Två ingångsspänningskällor V_1 och V_2 är kopplade enligt figur. Vilken utsignal V_{ut} fås idealt på utgången av U_1 ? Ange peak-to-peak amplituden $V_{ut(p-p)}$ och frekvens!

Förstärkningen för INA111 kan beräknas enligt $A_v = 1 + 50\text{k}\Omega / R_1$.



Lösning:

$$A_v = 1 + 50/5.6 = 9.93$$

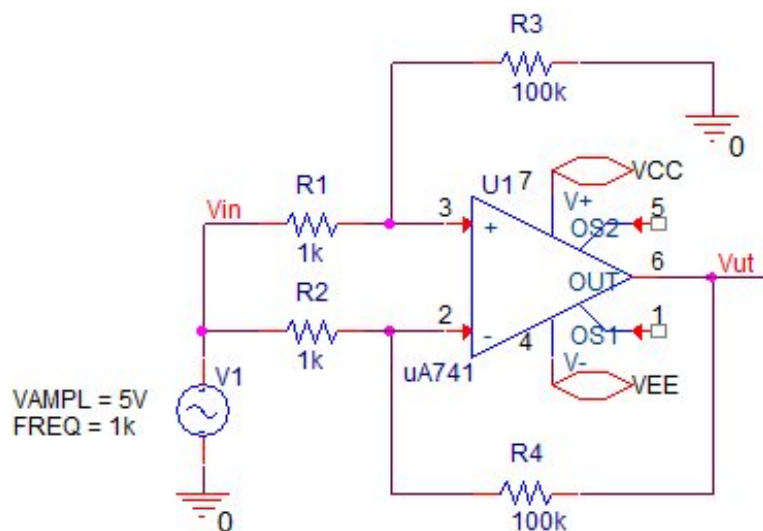
Idealt förstärker förstärkaren endast differentiella signaler mellan ingång 2 och 3 och längsspänningar mot jord undertycks. $V_{AMPL} = 10 \text{ mV} \Rightarrow$

$$V_{ut(p-p)} = A_v (2 \times V_{AMPL}) = 199 \text{ mV}$$

$$f(V_{ut}) = 10 \text{ kHz}$$

11.

När man kortsluter ingångarna på differentia förstärkaren i figuren nedan fås utsignalen $V_{ut} = 15 \text{ mV}$ om insignalen är en 1 kHz sinusspänning på 5 V. Beräkna CMRR för denna vid 1 kHz!



Lösning:

$$\text{Förstärkningen för diff-förstärkaren ovan är } A_{DM} = R_2/R_1 = 100 \text{ ggr}$$

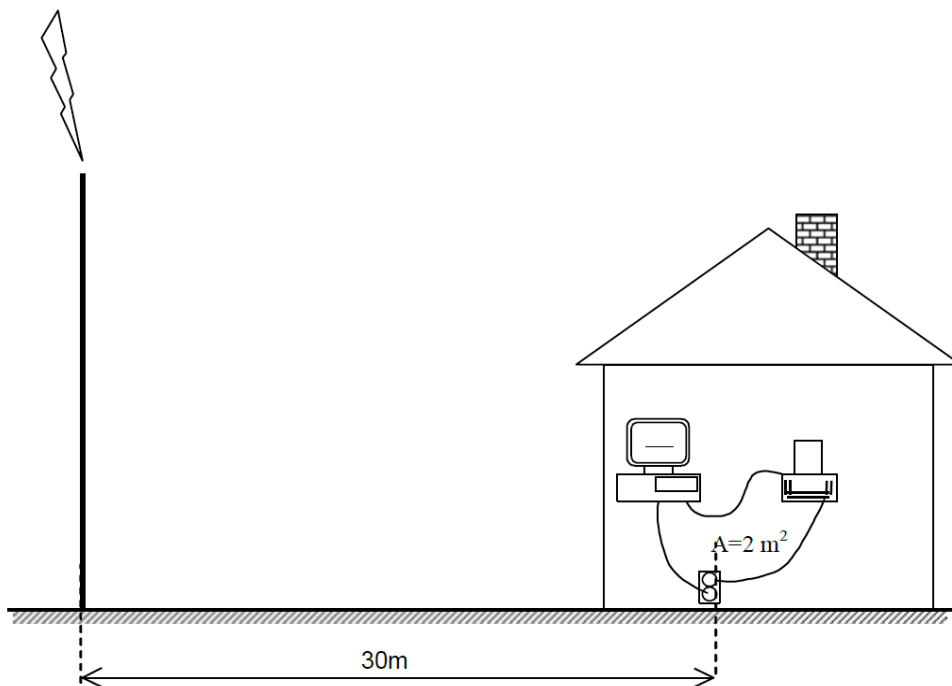
Förstärkningen för längsspänningar är som angivits $A_{CM} = 15 \text{ mV/5V} = 3 \times 10^{-3}$.

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 20\log(A_{DM}/A_{CM}) = 20\log(100/3 \times 10^{-3})$$

$$\Rightarrow \text{CMRR} = 90.5 \text{ dB}$$

12.

Åskan slår ned i en åskledare på 30 m avstånd från en dator. Datorn är kopplad till en skrivare med en signalkabel. Både datorn och printern är anslutna till 230 V elnätet på ett sådant sätt att en öppen slinga på 2 m^2 bildas. Under blixurladdningen stiger strömmen i åskledaren från noll till toppströmmen 200 kA på $1 \mu\text{s}$. Vilken är den maximala spänningen som induceras i slingan?



Lösning:

Enligt formelsamlingen sid 305 är

$$E \approx \frac{\mu_0 A}{2\pi r} \frac{di}{dt}$$

$$E \approx \frac{4\pi 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 30} \times \frac{2 \times 10^5}{10^{-6}}$$

$$E = 2.7 \text{ kV}$$

13.

Bilden visar ett exempel på en omkopplare som styr ett relä. Två komponenter R och C har lagts till för att förhindra överslag så att elektrodytorna inte skall förstöras.

1) Vad är lägsta spänningen som kan ge en gnista mellan två elektroder i en omkopplare? Ange ett av alternativen!

(a) 1-3 V

(b) 12-15 V

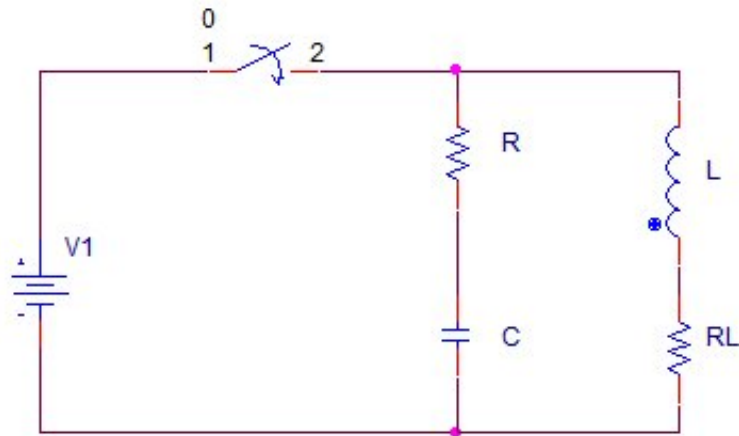
(c) 50-80 V

2) Vilken spänning mellan elektroderna krävs för att överslag skall kunna ske via jonisation av luften?
Ange ett av alternativen!

(a) 50 V

(b) 100 V

(c) 300 V



Lösning:

1. 12 – 15 V.
2. 300 V

14.

Varje störning har en källa, en kopplingskanal och ett offer. Kopplingskanalen eller störningsvägen brukar ofta delas upp i två sätt som störningen kan överföras mellan källa och offer. Vilka?

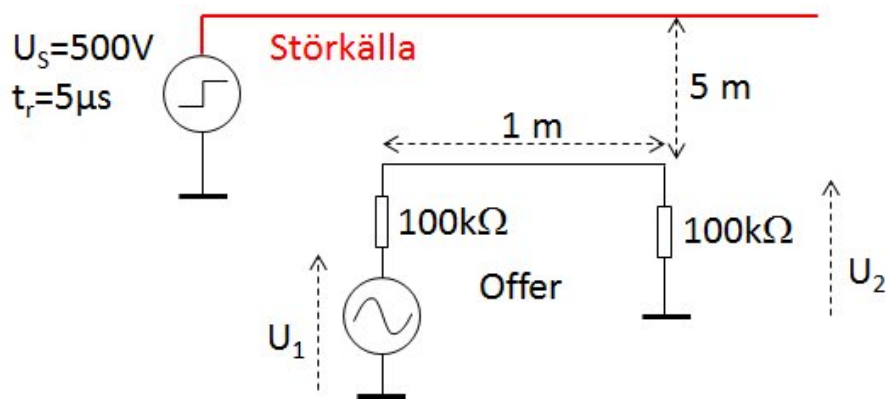
Lösning:

- 1) Konduktiv eller ledningsbunden störning
- 2) Elektromagnetisk störning

15.

En kraftledning ligger på 5 m avstånd från ett störningsupptagande offer. En transient på kraftledningen med diametern 1 mm har amplituden 500 V och stigtiden 5 μ s.

Offret har en 1 m lång oskärmad ledning av 1 mm tjock koppartråd som drivs av en signalkälla med impedansen 100 k Ω . Ledningen termineras med 100 k Ω last. Hur stor blir störningsspanningen U_2 ?



Lösning:

Först kollar man om offret ligger i när- eller fjärrfältet från störkällan. För störningen gäller att gränshänsen $f_b = 1/\pi t_r = 64 \text{ kHz}$. Detta ger våglängden $\lambda = c/f_b = 4.7 \text{ km}$. Kritiska avståndet blir då $d_{\text{krit}} = \lambda/2\pi = 750 \text{ m}$ och man kan anta att offret ligger i närfältet av störkällan. Då gäller att störningen överförs kapacitivt eller induktivt. I beskrivningen saknas uppgift om strömstyrka i störkällan mm så vi får anta kapacitiv störningsväg.

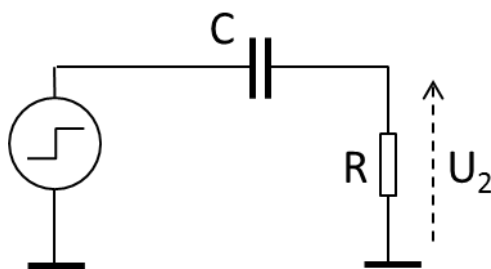
Formelsamlingen sid 303 ger att kapacitansen mellan ledarna när $a \ll d$ är

$$C \approx \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$$

$\epsilon_r = 1$ i luft, $l = 10 \text{ m}$, $d = 5 \text{ m}$, $a = 0.5 \text{ mm} \Rightarrow C = 30 \text{ pF}$

$R = 100 \text{ k}\Omega$ parallellt med $100 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$

Om man ritat ekvivalent schema (approximation) för situationen fås följande:



För en flank gäller (formelsamling sid 303) att

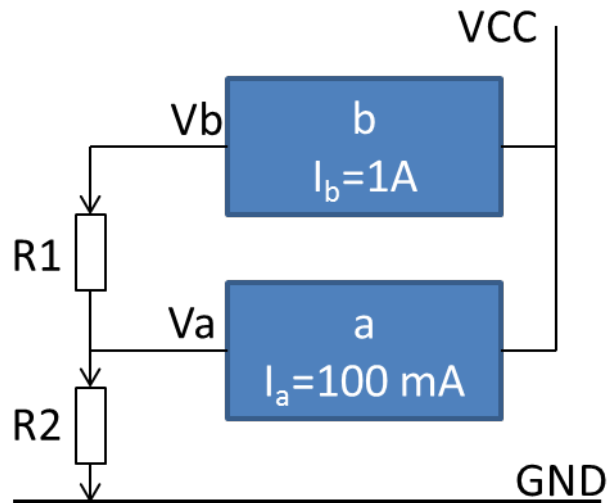
$$i = C \frac{du}{dt}$$

Och $U_2 = R \times i$ vilket ger att

$$U_2 = RC \frac{du}{dt} = 50 \times 10^3 \times 30 \times 10^{-12} \frac{500}{5 \times 10^{-6}} = 150V$$

16.

Två kretskort (a och b) är placerade i en apparat som på bilden. Kort a drar 100mA ström från VCC och kort b drar 1A. Hur stor är störningen av referensnivån V_a och V_b för korten? Hur stor blir störningen på referensnivån för korten om de byter plats med varandra? Båda korten har jordimpedansen $R_1 = R_2 = 1\ \Omega$.



Lösning:

Fall 1: Enligt Kirschoffs lag går strömmen $I_a + I_b$ genom $R_2 \Rightarrow$

$$V_a = R_2 \times (I_a + I_b) = 1\ \Omega \times (1A + 0.1A) = 1.1V$$

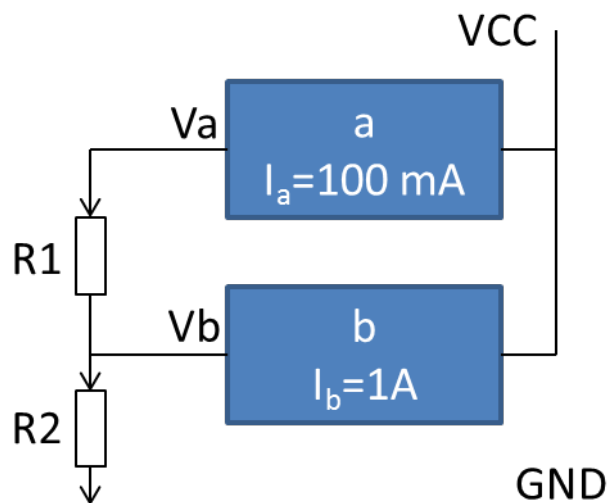
Genom R_1 går strömmen $I_b \Rightarrow$

$$V_b = V_a + R_1 \times I_b = 1.1V + 1\ \Omega \times 1A = 2.1V$$

Fall 2: Om korten byter plats som i fig nedan blir spänningarna följande

$$V_b = R_2 \times (I_a + I_b) = 1\ \Omega \times 1.1\ A = 1.1\ V \text{ att bli } 1.1\ V$$

$$V_a = V_b + R_1 \times I_a = 1.1V + 1\ \Omega \times 0.1\ A = 1.2\ V$$

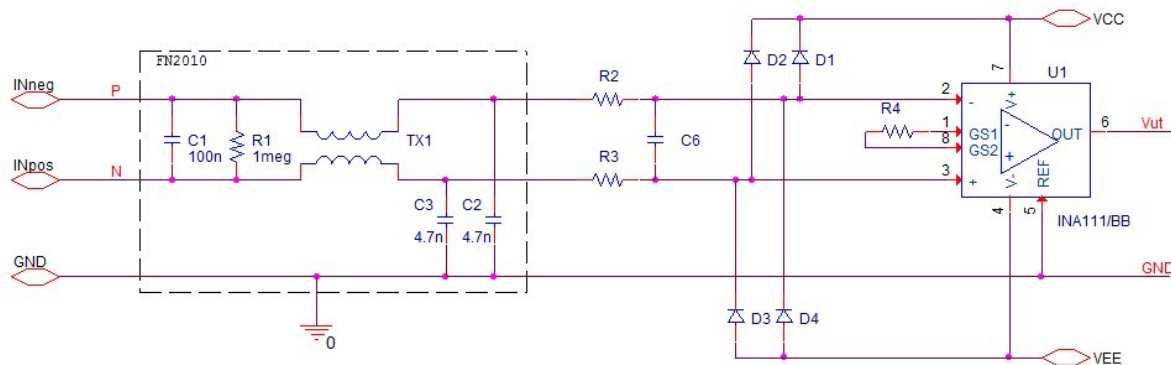


$$\Rightarrow V_a: 1.1V \rightarrow 1.2V$$

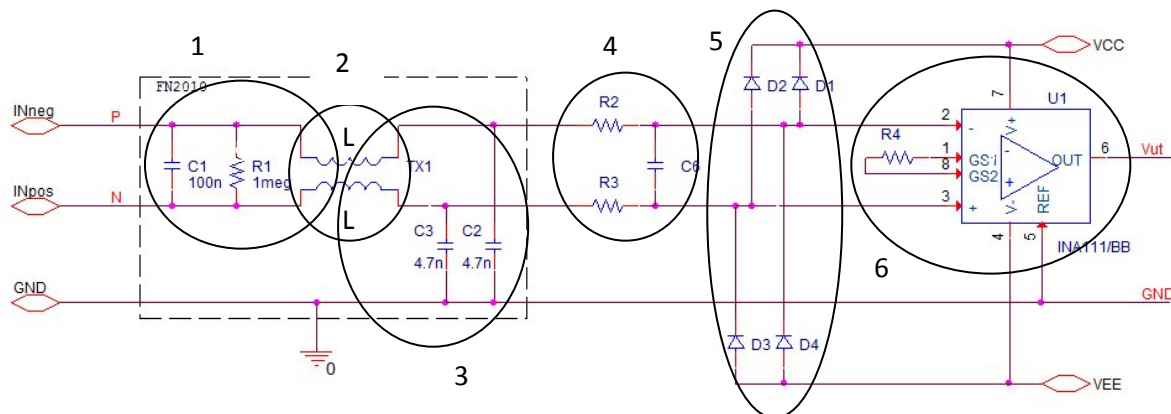
$$\Rightarrow V_b: 2.1V \rightarrow 1.1V$$

17.

Bilden nedan visar ett schema på en ingång till ett mätsystem. Omringa de komponenter eller komponentgrupper som utgör skydd mot elektromagnetiska störningar, numrera dem och skriv vad är det för typ av skydd och mot vad det skyddar.



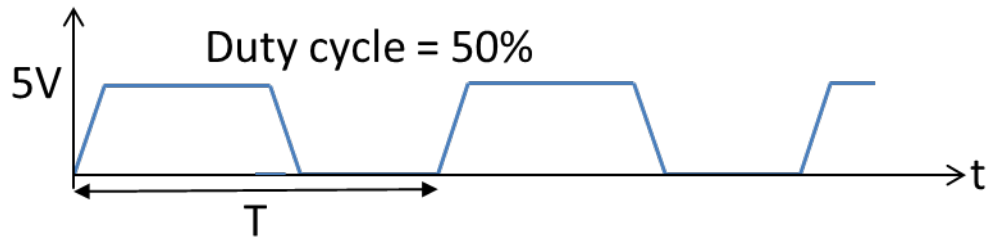
Lösning:



- 1: Differentiellt störningsfilter (C1, L)
- 2: Balun, filter för asymmetrisk störning
- 3: Common mode filter (L, C2, C3)
- 4: Differentiellt störningsfilter (LP)
- 5: Överspänningsskydd
- 6: Common mode filter

18.

En digital signal med amplituden 5 V och frekvensen är 30 MHz ser ut som i figuren. Stigtiden t_r och falltiden t_f är båda 6% av periodtiden T . Under vilket frekvens ligger det mesta av signalens energi?



Lösning:

Periodtiden för signalen $T = 1/f = 33.3 \text{ ns} \Rightarrow t_r = t_f = 0.06 \times 33.3 = 2 \text{ ns}$.

Den gränshänsyn under vilken det mesta av signalens energi finns är

$$f_b = 1/\pi t_r = 159 \text{ MHz}$$

19.

En ledare på ett mönsterkort skall transportera en signal med frekvensen 100 MHz. Vad är skindjupet (=inträngningsdjupet) för strömmen i kopparlaminatet vid denna frekvens?

Lösning:

I formelsamlingen sid 306 fås att inträngningsdjupet är

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}}$$

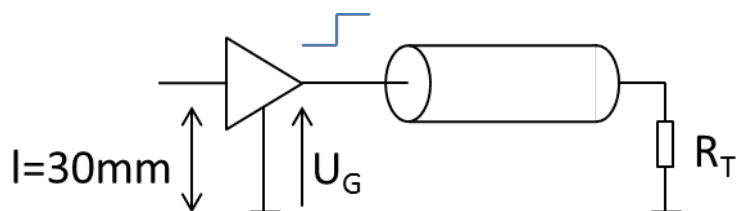
$$\omega = 2\pi f, \mu_r = 1, \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}, \sigma = 5.82 \times 10^7 \text{ 1/}\Omega\text{m} \Rightarrow$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi \times 10^8 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 5.82 \times 10^7}}$$

$$\Rightarrow \text{Skindjupet } \delta = 6.6 \text{ }\mu\text{m}$$

20.

En buffert driver en koaxialkabel med impedansen $Z_0 = 75 \Omega$. Vid ett spänningsomslag är stigtiden för drivarens utsignal $t_r = 3 \text{ ns}$ och svinget går från noll till 5 V. Komponenten (bufferten) är placerad på ett 1.6 mm tjockt mönsterkort. Jordledaren till bufferten är 30 mm lång, 0.5 mm bred (w) och går över ett jordplan på kortets motsatta sida. Höga frekvenser antas, dvs $w \gg$ inträngningsdjupet. Hur stort blir spänningsfallet U_G i jordledaren vid spänningsomslaget?



Lösning:

Beräkna först induktansen för jordledaren till bufferten. Enligt formelsamlingen sid 304 är

$$L \approx \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln\left(\frac{2\pi h}{w}\right)$$

$$\Rightarrow L = 18 \text{ nH}$$

Spänningen på utgången av bufferten stiger från noll till 5V på 3ns. Eftersom belastningen $Z_0 = 75 \Omega$ stiger då strömmen från noll till 66.7 mA på samma tid. $\Rightarrow$

$$U = L \frac{di}{dt} = 18 \times 10^{-9} \frac{66.7 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-9}} = 0.4V$$

21.

En kondensator används för att stabilisera spänningen till en krets. Man har valt att inte korta av benen till kondensatorn utan låtit den behålla sina 1 cm långa ben med diametern 0.33 mm. Rita upp kondensatorns egentliga schema med strökomponenter samt beräkna resonansfrekvensen om kapacitansen är 10nF. För beräkningen kan höga frekvenser antas.



Kondensator

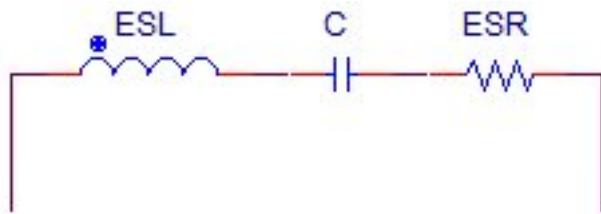
Lösning:

Den ekvivalenta serieinduktansen (ESL) kan beräknas

$$L \approx \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln\left(\frac{4l}{d}\right)$$

$$l = 2 \times 10^{-2} \text{ m}, d = 0.33 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \text{ESL} = 22 \text{ nH}$$



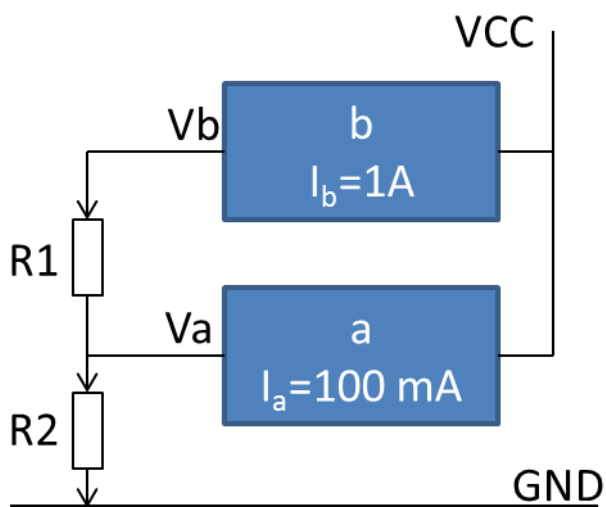
Serieresonansfrekvensen är

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\Rightarrow f_r = 10.7 \text{ MHz}$$

22.

Man väljer olika typer av jordning beroende på de frekvenser som används i en kretslösning. I nedanstående exempel som vi räknat på tidigare i tentan användes s.k. "hoppande jord". Skriv in i tabellen vid vilka frekvenser det är lämpligt med denna typ av jordning! Fyll också i vilken typ av jordning som är lämpligast vid de två andra frekvensintervallen i tabellen!



Frekvens f	Jordning
$f < 1 \text{ MHz}$	
$1 \text{ MHz} < f < 10 \text{ MHz}$	
$f > 10 \text{ MHz}$	

Lösning:

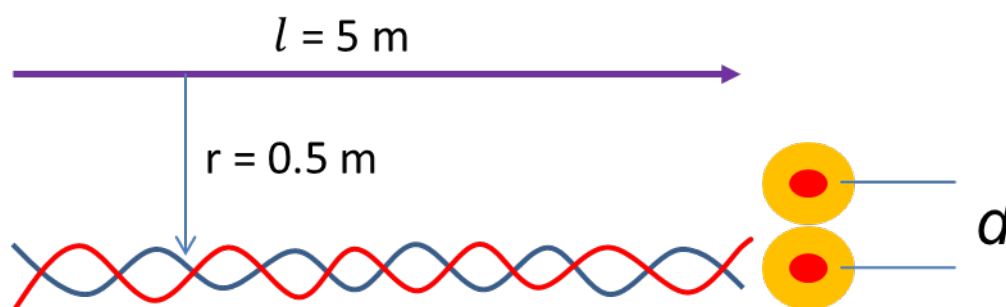
Frekvens f	Jordning
$f < 1 \text{ MHz}$	Hoppande jord
$1 < f < 10 \text{ MHz}$	Trädstruktur, stjärnjordning
$f > 10 \text{ MHz}$	Jordplan

23.

En tvinnad signalkabel går parallellt med en kraftkabel på en sträcka av 5 m. Avståndet r mellan kablarna är 0.5 m. Strömderivatan i kraftkabeln di/dt har uppmätts till 200 A/ μ s.

Koppartråden i signalkablarna har diametern $a = 0.8 \text{ mm}$ och isolationen är 1 mm tjock. Tvinningen är 30 slag/m, vilket ger att signalkabelns areaobalans $A_{\text{eff}} = 5 \%$.

Beräkna inducerad spänning i signalkabeln!



Lösning:

Först beräknas ytan A (projektion) av den tvinnade kabeln. Avståndet mellan kopparledningarna $d = a + 2 \text{ mm} = 2.8 \text{ mm}$.

$$A = \frac{ld}{\sqrt{2}}$$

, vilket ger att $A = 9.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Den effektiva arean $A_{\text{eff}} = 0.05 \times A = 495 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

I formelsamlingen sid 305, inducerad emk i slinga

$$E \approx \frac{\mu_0 A_{\text{eff}}}{2\pi r} \frac{di}{dt}$$

=> **E = 39.6 mV**

24.

Tre vanliga typer av överspanningsskydd vid t.ex. åska är

- A. TranZorb (transient voltage suppressor),
- B. Gasurladdningsrör
- C. MOV (metal oxide varistor).

Ange i de tomma rutorna i tabellen vilket skydd som passar in på angivna data!

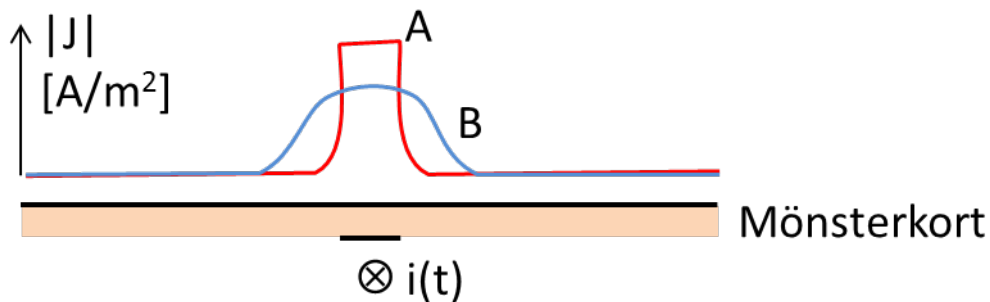
Komponent			
Klippspänning	200V – 2 kV	10V – 1 kV	5 – 200 V
Toppström	20 – 200 kA	1 – 10 kA	200 A
Reaktionstid	1 – 200 μ s	1 – 100 ns	10 ns
Kapacitans, typisk	3 pF	1 nF	5 nF

Lösning:

B C A

25.

På ett dubbelsidigt mönsterkort används den undre sidan för signaler $i(t)$ och den övre som ett ledande jordplan. Bilden visar ett tvärsnitt av kortet och två olika strömtäthetskurvor för returströmmarna som går i jordplanet. Den ena kurvan är vid en lägre frekvens och den andra vid en högre. För vilken av frekvenserna blir strömtäthetskurva mera fyrkantigt och högre och för vilken blir den mera utslätad?



Lösning:

B = låg frekvens, A = hög frekvens